

PCaPC 工法による大規模な平面形状を有する工場の施工

— 三菱電機^{なかつがわ}(株)中津川製作所飯田PV^{いいだ} 第2工場 —

大阪支店	建築部	長谷川俊一
東京支店	建築工事事務部	宿谷直基
建築本部	設計部	佐藤高
建築本部	設計部	南淳一郎

概要：2010 年初頭、長野県飯田市にある三菱電機(株)中津川製作所飯田工場の敷地内に、太陽光発電 (Photovoltaic power generation) における太陽電池セルを生産する施設の第2工場が完成した。当初の予定では、新工場建設期間中に新工場4階の生産ラインを一部稼働させる計画があり、施主より工期短縮を強く要求された。また、大規模な平面形状でありながら、建設条件としては北側一方のみの架設ヤードしかなかった。本工事はこれらの条件を満足するために、特殊な施工方法が設計段階より採用された。その特殊な施工方法に着目しながら、本工事の構造計画から施工方法までを紹介する。

Key Words：大規模な平面形状、PCaPC 工法、工区分割、緊張手順

1. はじめに

近年、工場の建設においては、地震災害後の早期稼働を目的とした、BCP（事業継続計画）を考慮した設計が多くなってきている。本工場も上述の目的を実現するために、免震構造、および高耐久のプレキャスト・プレストレストコンクリート工法（以下 PCaPC 工法と略記）の併用が採用された工場である。建物外観を写真-1 に示す。本工場の平面形状は 10m×14m の標準グリッドを有し、全体が約 70m×80m という大規模な平面形状を有している。このような大規模な建築物に免震構造と PCaPC 工法が併用された例は国内でも事例が少なく、揚重計画によるプレキャスト部材の組立手順、また、プレストレス力の導入（以下緊張と略記）によって生じる不静定応力に影響する緊張手順等の重要検討事項が山積する。

これらの課題を解決するために PCaPC 工法においては特殊な分割方式を採用する必要がある。

本稿では、その架設計画、緊張手順、緊張による部材変位の管理方法等を報告する。



写真-1 建物外観



長谷川俊一



宿谷直基



佐藤高



南淳一郎

2. 工事概要

2.1 建築工事概要

工事概要を以下に示す. 外観パースを図-1 に示す.

工事名称：三菱電機(株)中津川製作所飯田 PV

第2 工場新築工事

発注者名：三菱電機(株)中津川製作所

所在地：長野県飯田市松尾代田 1213

階 数：地上 5 階

建物高さ：最高高さ 30.25m, 軒高 29.60m

敷地面積：106,571.22m²

建築面積：5,917.32m²

延床面積：23,617.00m²

基準階面積：5,649.84m²

構造：PC 造

外 装：ALC 版 t=100 のうえ吹付タイル

屋 根：コンクリート直押え+アスファルト断熱絶縁工法+押えコンクリート

用 途：工場

設計監理：(株)三菱地所設計 名古屋支店

施 工：大成・フジタ建設共同企業体

工 期：2009 年 2 月 23 日～2010 年 1 月 31 日

PCaPC 工期：2009 年 5 月 1 日～2009 年 10 月 31 日



図-1 外観パース

2.2 建築工事工程

建築工事全体工程を図-2 に示す.

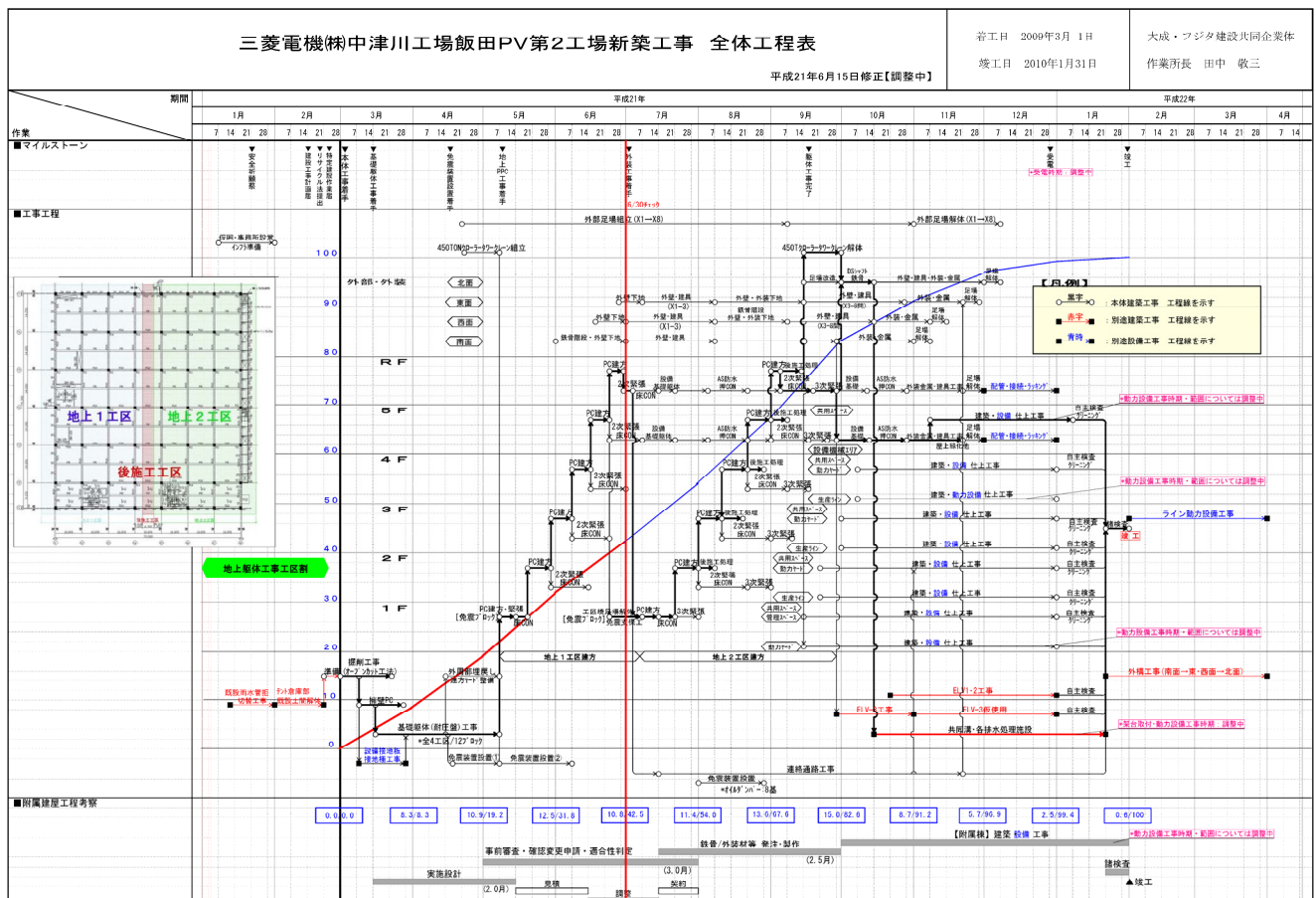


图-2 建筑全体工程表

2.3 構造概要

構造形式はX, Y方向とも純ラーメンPC構造で, 1階PCa梁下に天然ゴム系積層ゴム支承30基, 鉛プラグ入り積層ゴム支承26基および, オイルダンパー8基を設置した免震構造である. 基礎形式はマットスラブであり, GL-3.8m付近の砂れき層を支持層とした直接基礎(ベタ基礎)である. 床組はスパン梁(Y方向梁)にプレテンション方式のPCa小梁をスパン中央に掛け渡し, 桁梁(X方向梁)とのあいだに, スパンクリート板($t=200\text{mm}$, 一部 $t=120\text{mm}$)を敷設し, 現場で配筋後トップコンクリートを打設する合成床形式である.

3. PCaPC 工事計画

3.1 PCa 部材数量

本工事に使用したPCa部材数量を表-1に示す.

表-1 PCa 部材数量表

部材名	部材数 (P)	部材総体積 (m^3)	部材総重量 (t)	部材強度 (N/mm^2)
免震ブロック	56	251.55	628.88	60
柱	242	1,314.76	3,286.90	60
スパン梁	251	2,034.44	5,086.11	60
桁 梁	336	1,381.21	3,453.02	60
小 梁	207	1,041.49	2,603.73	60
スパンクリート	3,834	2,758.66	6,896.65	40
合 計	4,926	8,782.11	21,955.29	

3.2 PC 鋼材数量

本工事に使用したPC鋼材数量を表-2に示す.

表-2 PC 鋼材数量表

種 類	鋼材種別	使用部位	本 数 (C)	総重量 (kg)	緊張力 (kN/C)
一般PC鋼棒	36mm(C-1)	柱	2,092	108,263	550
DW ケーブル	12S15.2	大梁	210	331,808	2,264
DW ケーブル	11S15.2	大梁	106		1,954
DW ケーブル	10S15.2	大梁	108		1,776
DW ケーブル	7S15.2	大梁	18		1,243
合 計			2,534	440,071	

3.3 架設計画

今回のような大規模の平面形状を有する建築物をPCaPC工法で施工するためには, 大型揚重機の使用が不可欠であり, その計画は敷地条件に大きく左右される.

本工事では, 建設地周辺の工場施設が毎日稼働するため, 工事用スペースとしては, 北側一方向からしか揚重することができない条件であった. この条件下で施工するためには, タワークレーンによる全工区を同時に施工する方法と, 工区を分けて順次施工する建逃げ(屏風)方法の2方式が考えられた.

前者の方法では, 下階より建築物全体に対して一気に施工を行うことができるので, 工期的には有利であるが, 揚重機がより大型化することで不経済であり現実的でない.

後者の建逃げ方法は, PCaPC工法における通常の大きさの揚重機で対応可能であるが, 連続スパンにおけるPC鋼材の配置が分割されるため, 応力状態が完成型と異なる. また, 平面的にフロアの半分を施工したのち, 上階にシフトするので, PCa部材の製作においても型枠改造等の問題が発生する.

今回は, 前述のようにそれぞれの要因があるが, 後者の分割方式が設計段階から採用された.

3.4 工区分割

工区分割を行うために、建物中央部の桁梁（X方向X4～X5通り梁）を3分割し（小梁は除く）、長期荷重による設計応力の最も小さくなるスパンの約1/4部にジョイントを設置する構造計画とした。工区割平面図を図-3に示す。ジョイント位置を図-4に示す。

また、1工区は単体でフレームを構築しながら最上階まで建方を行う必要があることから、工事中における地震等の外力に対する安全性を確保するために、X、Y方向共2次緊張を行いながら部材を組み立てた。2工区も同じように部材の組み立てを行ったが、2工区の施工より1フロアー遅れて、建物中央部の後施工工区のブロック梁を設置し、スパンクリートの敷設後トップコンクリートを打設して、3次緊張を行うことで両工区を一体化し、躯体を形成する計画とした。後施工工区の状況を写真-2に示す。

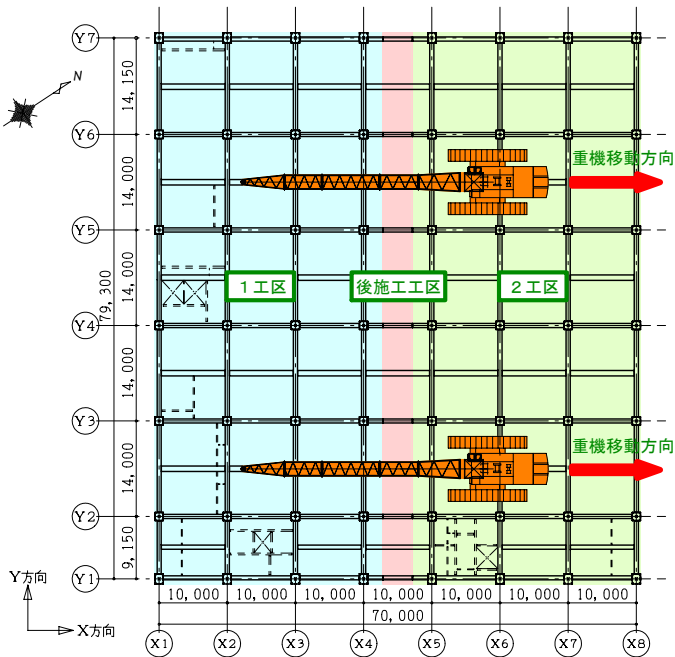


図-3 工区割平面図



写真-2 後施工工区

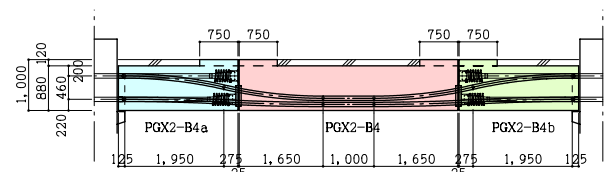


図-4 工区割詳細図

3.5 PC 工事サイクル工程

1工区はPCa部材の建て方サイクルを7日間とし、2工区は後施工工区も含めて11日間として施工を行った。1工区のサイクル工程を図-5に示す。2工区および後施工工区のサイクル工程を図-6に示す。但し、1工区単体で見ると長方形平面になるため、緊張による長辺方向（Y方向）の免震層の水平変形が大きかった。そのため、2工区を施工するにあたっては、その免震層の水平変形が1工区と異なってくる恐れも考えられたので、免震階のPC工事を2工区および後施工工区まで完了させ、スラブトップコンクリートを全て打設して1工区との一体化を図ったうえで、2工区の1階以降の施工を行った。

1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
柱据付	柱据付 梁架設	梁架設	梁架設 床版敷込	床版敷込	床版敷込 足場組立	足場組立

図-5 1工区サイクル工程

1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目
柱据付	柱据付 梁架設	梁架設	梁架設 床版敷込	床版敷込	床版敷込	工区境 足場組立	工区境 梁架設	工区境 床版敷込	足場組立	足場組立

図-6 2工区及び後施工工区サイクル工程

3.6 架設計画図

1工区施工時の架設計画図を図-7に示す。2工区および後施工工区施工時の架設計画図を図-8に示す。

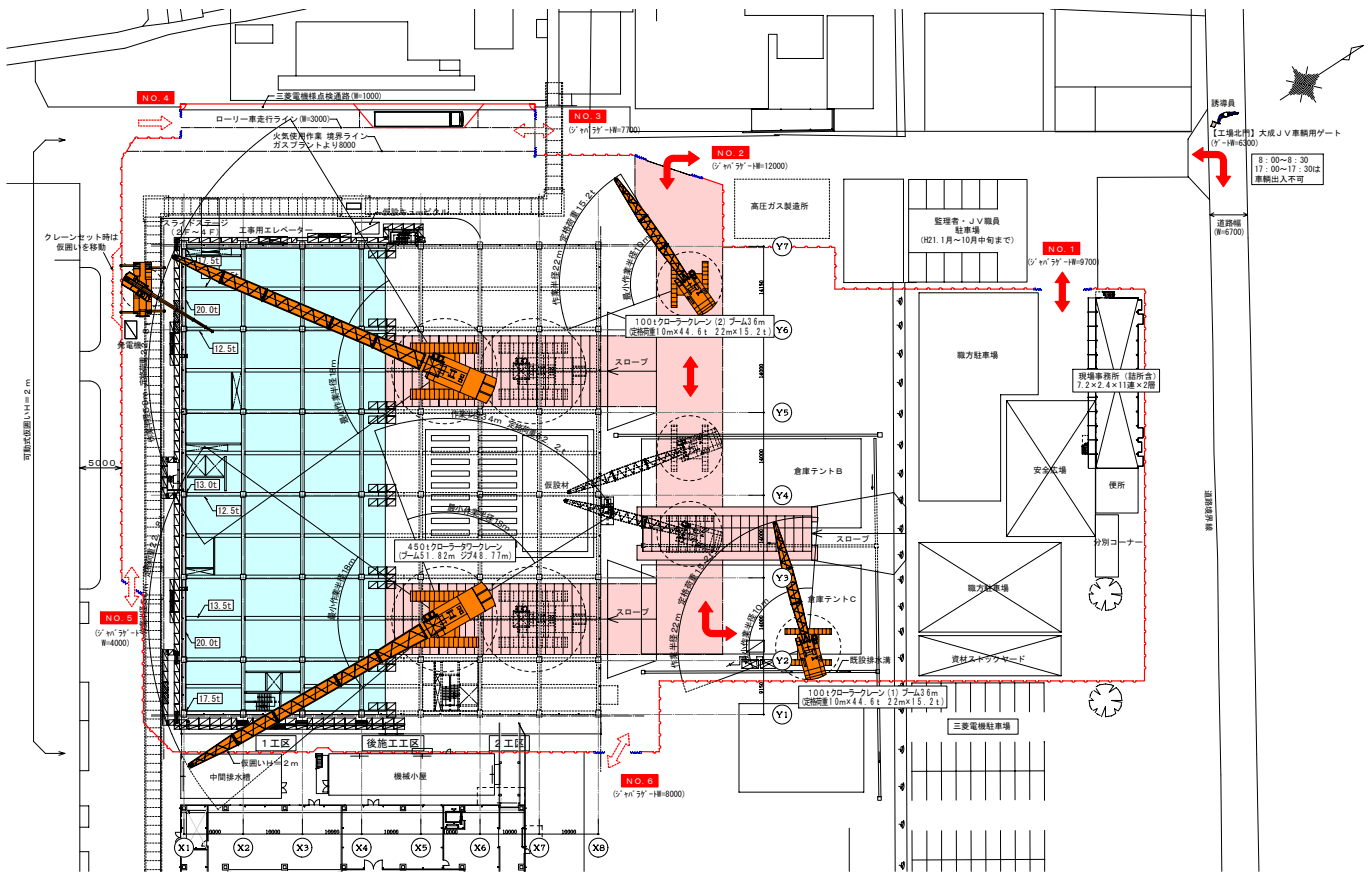


図-7 1工区架設計画図

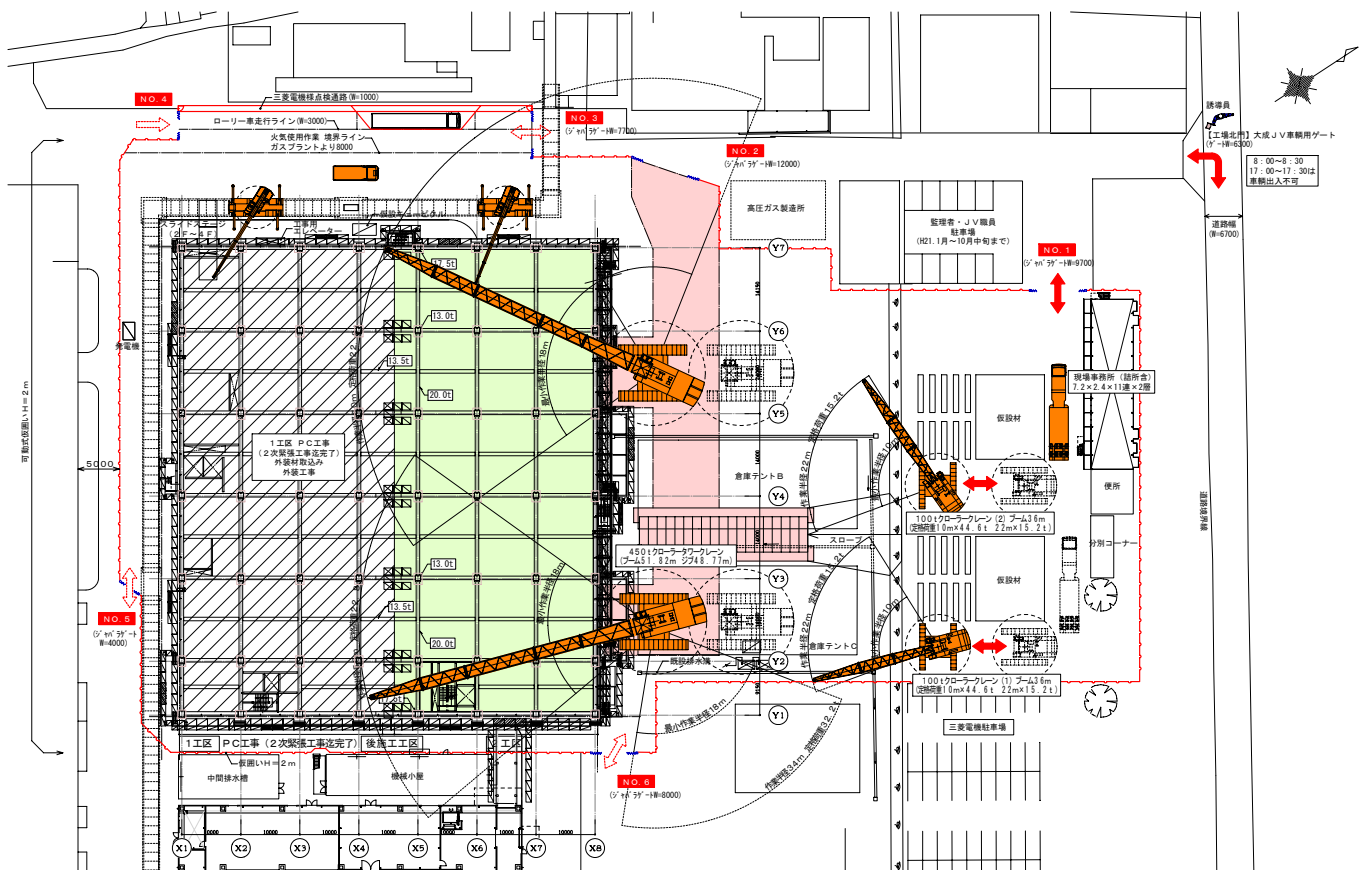
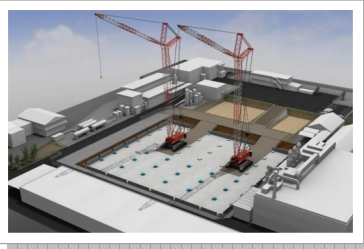


図-8 2工区および後施工工区架設計画図

3.7 PC 工事施工手順

PC 工事の施工手順を次に示す。

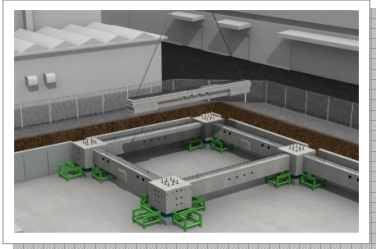
1. 建方前



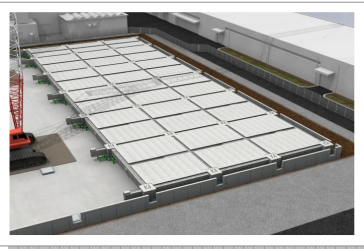
2. 1 工区 PCa 免震ブロック建方



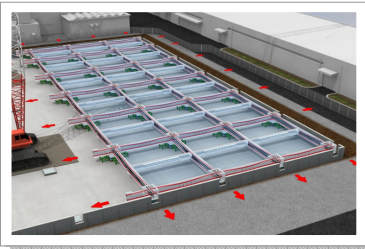
3. 1 工区 PCa 梁建方



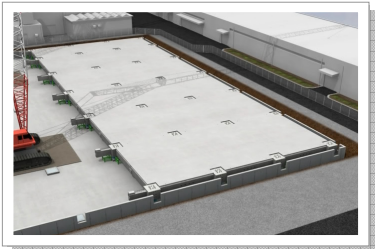
4. 1 工区 PCa 床敷設



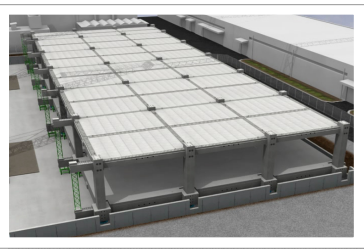
5. 梁 2 次緊張



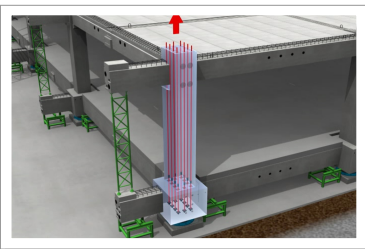
6. トップコンクリート打設



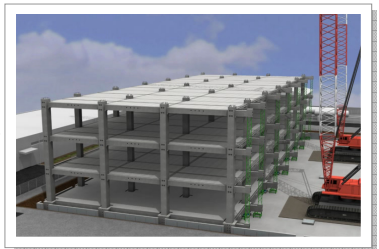
7. 1 階立上 PCa 部材建方



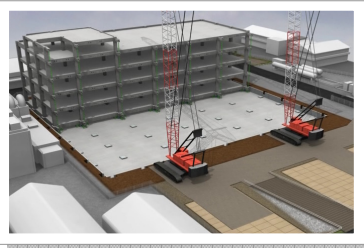
8. 柱緊張



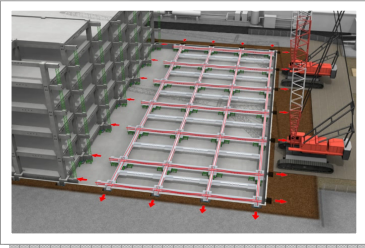
9. 1 工区繰り返し



10. 1 工区建方完了



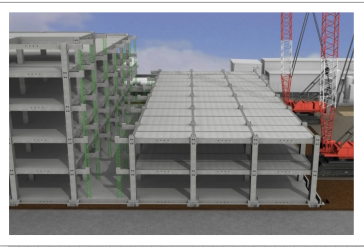
11. 2 工区施工(梁 2 次緊張)



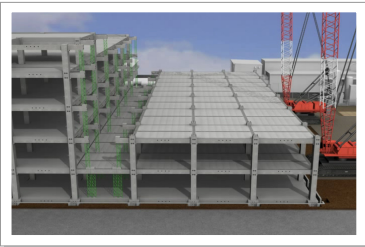
12. 後施工工区施工(PCa プロック梁建方)



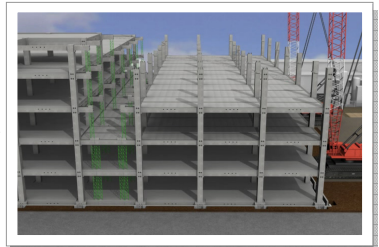
13. 2 工区施工



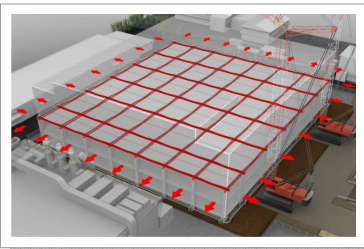
14. 後施工工区施工



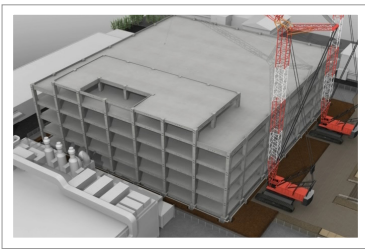
15. 2 工区・後施工工区 繰り返し



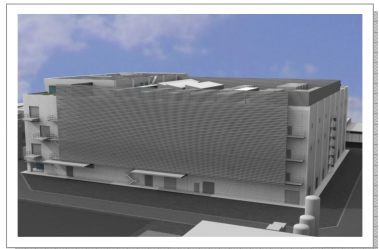
16. 梁 3 次緊張



17. 躯体完成



18. 完成



3.8 建て方計画

3.8.1 免震階

免震層を施工するにあたっては、免震装置直上の梁のコンクリートの乾燥収縮と緊張変形のため、外周部の免震装置は建物内側の方向に最大で 30mm 程度の水平変形を生じる。免震層の水平変形を図-9 に示す。

免震装置の水平変形量管理値は以下の値の小さいほうとする。

①積層ゴム総高さの 25%以内 $200 \times 25\% = 50\text{mm}$ 以内

②積層ゴム直径の 10%以内 $850 \times 10\% = 85\text{mm}$ 以内

今回の変形量は管理値以内であるため、PCa 免震ブロックを建物外側に移動することなく正規の位置に架設した。

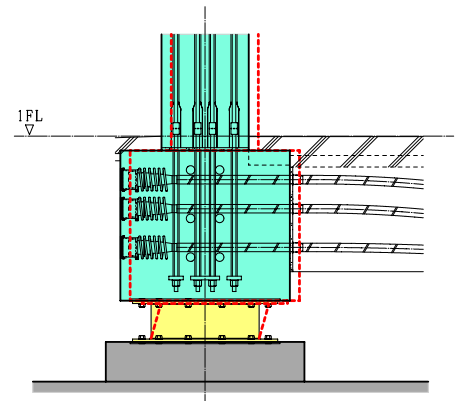


図-9 免震層の変形図

3.8.2 基準階

PCa 柱の建て方においては、梁の 2 次緊張、3 次緊張による PCa 柱の水平移動および柱頭部の倒れ込みを考慮するため、PCa 柱の柱脚部を建物外側へ移動させたうえ、柱頭部を建物外側に倒して建て方を行った。

たとえば 1 階 PCa 柱の建て方においては、1FL 梁の 2 次緊張まで完了しているの、3 次緊張時の水平変位量のみを考慮して、柱脚部を建物外側に移動させて建て方を行った。柱頭部については、柱脚部の水平変位量に 2FL 梁の 2 次緊張、3 次緊張による水平変位量を加算した変位量を考慮して、建物外側に倒して建て方を行った。2 階以降については、柱脚部位置の梁の 2 次緊張、3 次緊張による水平変位量に、柱頭部位置の梁の 2 次緊張、3 次緊張による水平変位量を加算した変位量を考慮して、柱頭部は建物外側へ倒して建て方を行った。PCa

柱の建て方計画図を図-10、建て方状況を写真-3、建て方精度管理状況を写真-4 に示す。

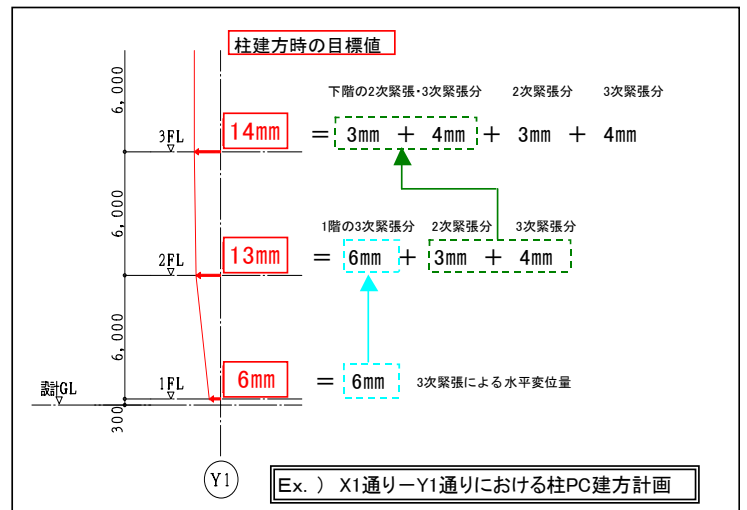


図-10 PCa 柱建て方計画図



写真-3 PCa 柱建て方状況



写真-4 PCa 柱建て方精度管理状況

3.9 緊張手順

3.9.1 PC鋼材配線図

X方向フレームの配線図を図-11, Y方向フレームの配線図を図-12に示す。

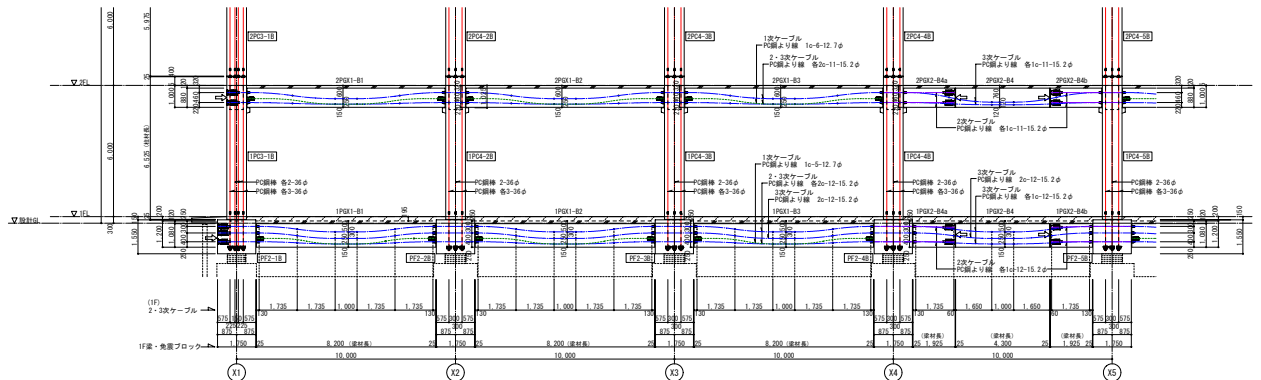


図-11 X方向フレーム配線図

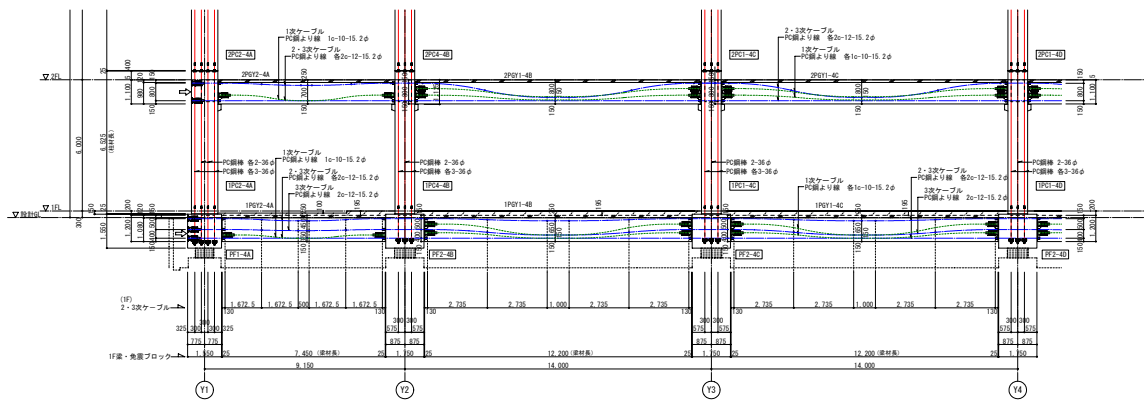


図-12 Y方向フレーム配線図

3.9.2 緊張計画

本工事では、緊張作業を3段階に分けて行った。部材製作工場でコンクリートの強度発現後に実施する1次緊張、現場にて部材組み立て後トップコンクリート打設前に実施する2次緊張、そしてトップコンクリートの強度発現後に実施する3次緊張である。その中で、3次緊張においては、スラブコンクリートにクラックを発生させないために、緊張による水平変位をスラブ面内せん断変形角が1/4,000以内となるように、各フレームの水平変位について検討し緊張順序を決定した。

3.9.3 3次緊張時におけるY方向フレームの検討

Y方向すべてのフレームの間隔は10,000mm, 各梁巾は600mmであるので、3次緊張で許容される水平変位差を求めると、 $(10,000 - 600) \times 1/4,000 = 2.35\text{mm}$ となる。

(1) 免震階

免震階の場合は、フレーム単位で全ケーブルを緊張すると、妻側フレーム(X1, X8 通り)の変位量は最大6.4mm, 中間フレーム(X2~X7 通り)の変位量は最大4.5mmであり、許容水平変位差を超える。そこで各フレームを2回に分けて(50%)緊張することとし、かつ中間フレームを妻側フレームより先に緊張する計画とした。緊張検討図を図-13に示す。

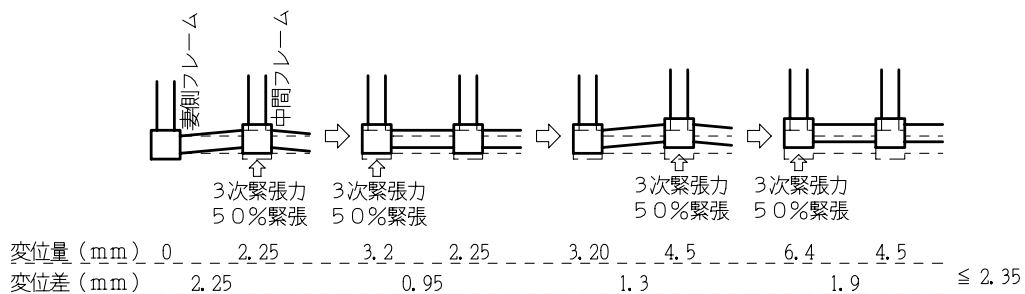


図-13 Y方向フレーム緊張検討図

(2) 基準階 (2階～R階)

基準階の場合は、妻側フレーム (X1, X8 通り) の変位量は最大 4.5mm、中間フレーム (X2～X7 通り) の変位量は最大 3.1mm であり、各フレームを 2 回に分けて (50%) 緊張すれば、どのフレームから緊張しても許容水平変位差を超えない。

3.9.4 3 次緊張時における X 方向フレームの検討

X 方向のフレームの間隔は最小で 9,000mm、基本は 14,000mm である。各梁巾は 600mm であるので、3 次緊張で許容される水平変位差を求めると、最小スパンでは $(9,000 - 600) \times 1/4,000 = 2.1\text{mm}$ となる。基本スパンでは $(14,000 - 600) \times 1/4,000 = 3.35\text{mm}$ となる。

(1) 免震階

免震階の場合は、フレーム単位で全ケーブルを緊張すると、妻側フレーム (Y1, Y7 通り) の変位量は最大 5.8mm、中間フレーム (Y2～Y6 通り) の変位量は最大 3.6mm であり、許容水平変位差を超える。そこで各フレームを 2 回に分けて (50%) 緊張することとし、かつ中間フレームを妻側フレームより先に緊張する計画とした。

(2) 基準階 (2階～R階)

基準階の場合は、妻側フレーム (Y1, Y7 通り) の変位量は最大 3.8mm、中間フレーム (Y2～Y6 通り) の変位量は最大 2.0mm であり、許容水平変位差を超える。そこで各フレームを 2 回に分けて (50%) 緊張することとし、かつ中間フレームを妻側フレームより先に緊張する計画とした。緊張検討図を図-14 に示す。

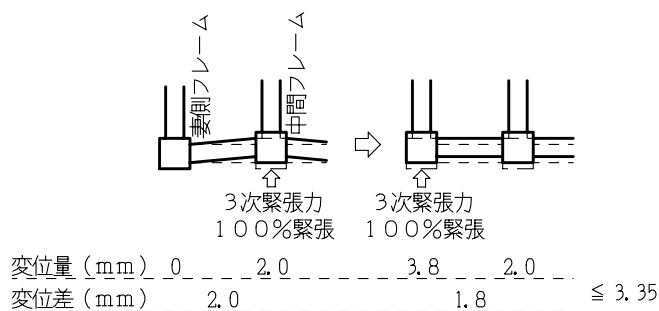


図-14 X 方向フレーム緊張検討図

4. まとめ

以前は、大規模な平面形状を有する建物を PCaPC 工法で計画する場合、揚重機が過大となるために計画変更となるケースがあったが、今回のような分割方式を採用すれば施工可能であることを証明できた。しかしながら、設計段階から早期に施工計画を立てる必要があり、作業は繁雑になり、検討するべき点は数多くなるのも事実である。

謝辞

本工事の設計では、設計者の㈱三菱地所設計の方々の多大なご支援をいただいている。また、施工においても工事監理者である㈱三菱地所設計、元請負者である大成・フジタ建設共同企業体の方々には、貴重なご助言および多大なるご指導をいただいている。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます。